



축류팬의 실용적 최적 설계에 대한 연구

Practical Study on Optimal Design of Axial-flow Fan

○이연경¹⁾, 사종엽²⁾

Yeonkyoung Lee, Jongyoub Sah

Small-sized fans for cooling electronic components are usually produced by injection molding in unified form including blade and hub. However, in case of middle and large-sized fans, they deal in various products with varied numbers of blades or stagger angles after designing a single blade by molding or aluminum die casting. At this occasion, it is necessary to study design method for high-performance axial fans can be operated with various numbers of blades or stagger angle using unique blade for specified conditions. Therefore, the goal in this study is developing a optimal design method which improves performance of axial fans within the large range of operating by single blade.

1. 서론

대부분의 축류팬은 설계점에서의 좋은 성능에 비해 탈설계점에서 가동되었을 때 성능이 감소한다. 그러므로, 실제 생산 현장에서 일어날 수 있는 여러가지 변수들을 고려하고, 다양한 사용자들의 욕구에 부합하도록 보다 넓은 범위에서 안전하고 만족할만한 성능을 보이는 팬의 설계가 요구된다. 또한, 기존의 블레이드 형상을 가지고 설치각을 바꾸거나 회전수를 달리하거나 개수를 변경하고자 할 때, 매번 유동 해석을 하거나 풍동 실험을 하는 것은 많은 시간이 소요된다. 따라서, 이미 설계된 기존의 블레이드 형상에 대해 설계 사양을 변경해가며 성능이 어느 정도 변화할 지에 대한 대략적 예측이 가능한 성능 해석 코드를 개발하는 것은 의미가 있다고 하겠다. 본 연구에서는 유체역학적 이론에 근거한 기초적인 축류 팬 설계를 수행한 후, 간단한 수치적 방법으로 구현한 성능 해석 코드를 이용하여 최적 설계를 실행할 것이다. 형상 최적 설계와 관련한 주요 관심사 중의 하나는 형상의 표현기법인데 Computer graphics의 다양한 방법(B-Spline, Nurbs등)이 응용되며 연구되고 있다. 최적 설계를 위해 블레이드 형상을 B-Spline Curve로 제어하고 표현했다. Fig. 1은 본 연구의 최적 설계 과정을 나타낸 것이다.

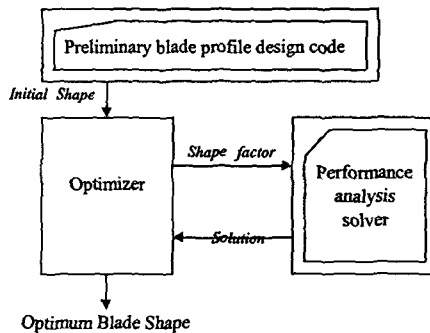


Fig. 1 Overview of the optimization process

1) 영남대학교 기계공학부 대학원

2) 영남대학교 기계공학부

2. 기초 형상설계

본 연구의 블레이드 설계 방법은, 특정 날개의 공기역학적 특성을 설계에 반영한다는 것이 가장 큰 특징이다. 팬의 설계는 터보 기계 이론의 전반적인 기초가 되는 방정식인 Euler Turbomachinery Equation으로부터 출발한다. 이 방정식은 에너지 방정식과 운동량 방정식을 익월에 적용함으로써 얻을 수 있다. 동익의 설계 시 Free Vortex Condition을 적용한다. 이러한 설계는 모든 유도에 대해 반경 방향에 따른 stagnation enthalpy의 변화가 없고, 반경 방향으로 축 방향 속도가 일정하다는 조건을 만족한다. 이 설계의 단점은 허브에서 유동의 전향이 커서 부하가 크게 되고 반경이 커질수록 날개에 걸리는 부하의 양과 커다란 차이를 보이게 된다는 것이다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 양력 계수(lift coefficient)의 분포를 반경 방향에 따라 효율을 고려하고 실속이 일어나지 않는 적절한 범위에서 결정하는 방법을 적용하였다. 이렇게 설계한 팬은 익현상이 반경이 증가함에 따라 감소하는 경향을 갖는다. 따라서, 반경방향에 따라 익현상의 분포로 양력계수를 제어할 수도 있도록 하였다. 설치각은 결정된 양력 계수를 주어진 익형에 대한 양력 계수와 받음각 간의 관계 데이터에 적용하여 적절한 받음각을 산출하여 구한다. Fig. 2은 본 설계 코드의 검증에 위해 상용 프로그램을 사용하여 계산한 유동각의 분포를 비교한 그림이다.

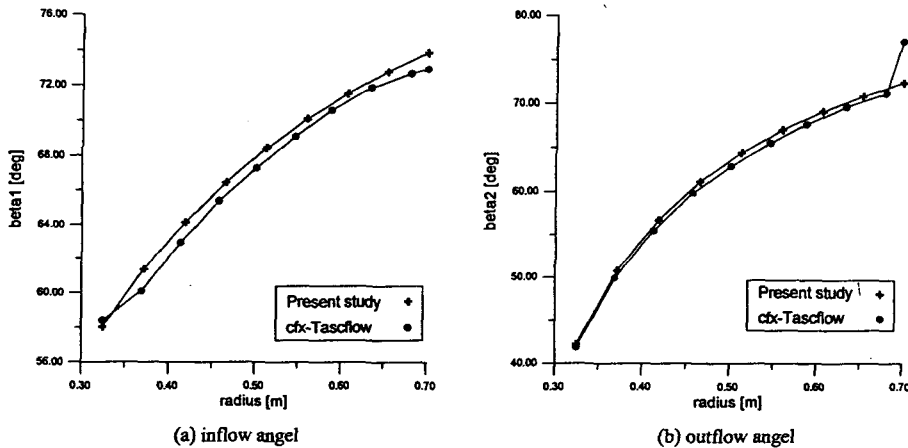


Fig. 2 Comparison of flow angles

3. 성능해석

성능곡선은 유량과 압력상승량의 관계식으로 나타낸다. 설계점에서는 압력상승량과 축방향속도가 반경방향에 따라 일정하지만 탈설계점에서는 그 분포를 알 수 없다. 따라서, 본 연구에서는 다음의 두 가지 방법으로 탈설계점에서의 성능곡선을 추정하였다.

(method 1) freevortex로 설계했으므로 반경방향에 따라 축방향 속도가 일정하다고 보고 주어진 축방향 속도로부터 반경방향에 따라 압력상승량을 가정한 후, 유동각과 받음각, 양력계수를 새로운 값으로 갱신하여 이로부터 압력상승량을 계산한다. 가정한 값으로 수렴할때까지 반복계산한다.

(method 2) 반경방향에 따라 압력상승량이 일정하다고 가정하고 이로부터 축방향속도를 계산하여 주어진 축방향속도로 수렴할때까지 반복계산한다.

Fig. 3은 성능해석 코드의 검증에 위해 상용 프로그램으로 계산한 성능 곡선을 비교한 그림이다. 실속이 일어나지 않는 구간에서는 상용 프로그램의 결과와 유사한 경향을 갖는다. 본 연구에서 계산된 결과값이 낮은 것은 설계시 손실의 고려하지 않았으므로 손실에 의한 오차로 볼 수 있다.

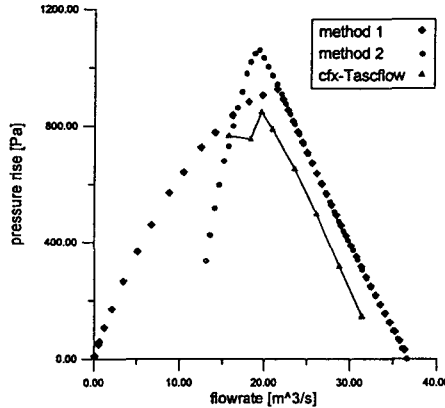


Fig. 3 Comparison of Performance Curves

4. 최적설계방법

4.1 B-Spline Curve

B-Spline은 국소적 조절점(control points)의 조작이 뛰어나 사용자가 대화식으로 설계하는 CAD시스템에 적합하다. 반경방향에 따른 익현장의 분포를 오더 2, 조절점 3의 B-Spline Curve로 표현하여 3개의 조절점을 최적화의 설계변수로 사용하였다.

4.2 설계변수와 목적함수

B-Spline Curve로 표현된 블레이드 형상에 대하여 그 조절점(P_0, P_1, \dots, P_m)을 설계변수로 한다. 주어진 유량범위에 대해 원하는 설계 포인트를 n개 선택하여 압력상승량을 각각 $OP(0) \sim OP(n)$ 이라 할 때, 해당 유량에서 실제 계산된 압력상승량 $P(0) \sim P(n)$ 이라 한다. 목적 함수 I 는 다음과 같이 정하였다. 목적 함수가 최소가 되도록 최적화한다.

$$I = \sum (OP_i - P_i)^2$$

$$I = f(\text{blade shape})$$

$$= f(P_0, P_1, \dots, P_m)$$

4.3 최적화 알고리즘

- step1. 초기 익현장의 분포를 B-Spline Curve로 나타낸다. (m+1)개의 조절점을 구한다.
- step2. n개의 설계포인트를 결정한다.
- step3. 주어진 조절점으로부터 성능해석하여, 목적함수를 계산한다.
- step4. 최급강하법과 황금분할법을 사용하여 목적함수를 최소화한다.

5. 적용

5.1 블레이드 형상설계

Table 1과 같은 설계사양으로 설계코드를 사용하여 초기 블레이드 형상을 설계한다.

설계 사양	
전압(Pressure Rise)	65 [mmAQ]
풍량(Flow)	1570[CMM]
회전수(Rotational Speed)	1020 [rpm]
밀도(Density)	1.219 [kg/m ³]
내경(hub diameter)	650[mm]
외경(casing diameter)	1400[mm]
익형(airfoil)	NACA2408
날개수(Blade No.)	7[개]
팁에서 양력계수(lift coefficient at tip)	0.48
허브에서 양력계수(lift coefficient at hub)	0.6

Table 1 Design parameters

Fig. 4는 설계 프로그램으로부터 완성된 2차원과 3차원의 블레이드 형상이다.

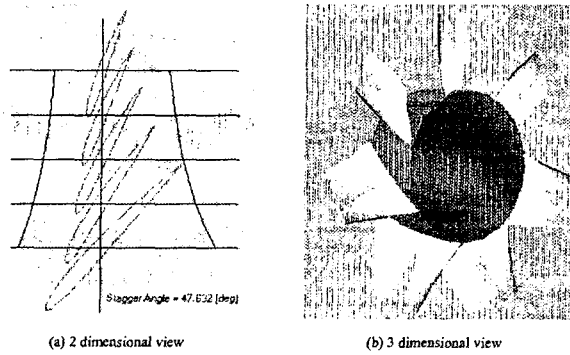


Fig. 4 Preliminary blade design

5.2 성능곡선

Fig. 5는 초기 설계한 블레이드 형상으로부터 계산한 성능곡선 결과이다.

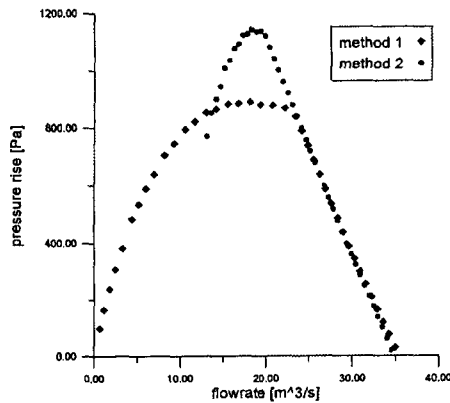
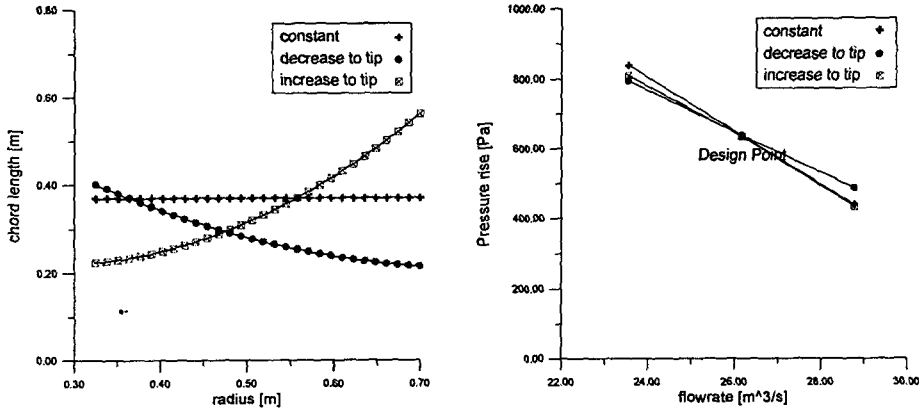


Fig. 5 Performance curve

5.3 최적화

Fig. 6은 설계점의 유량에 대해 0.9 ~ 1.1의 비를 갖는 범위에서 최적화한 후, 계산된 각각의 블레이드 형상과 성능곡선이다.



(a) chord length distribution in radial direction (b) performance curves according to various chord length distribution

Fig. 6 Blade Optimization

6. 결론

간단한 초기 형상설계와 신속한 성능해석이 가능한 코드를 소개하고 이를 상용 프로그램인 cfx-Tascflow으로 검증하였다. 이와 더불어, 넓은 유량범위에 대하여 성능 변화의 폭이 적은 유일한 블레이드 형상을 얻을 수 있는 최적화 알고리즘을 개발하였다. 더 나아가서, 본 연구를 기초로 하여 실제 제작현장에서 실질적인 적용이 가능하리라 기대된다.

7. 참고문헌

[1] Bruno Eck, Fans: Design and operation of centrifugal, axial-flow and cross-flow fans, Pergamon Press, (1973).
 [2] Wallis, R. Allan, Axial Flow Fans and Ducts, Krieger Publishing Co., Malabar, Florida, (1993).
 [3] Abbott, Ira H., Theory of Wing Sections, Dover Publication, Inc., (1959).
 [4] 이영창, 축류압축기 설계와 유동해석, 연세대학교 기계공학과 석사학위 논문, (1989).
 [5] Cholaseuk D., V. Srinivasan and V. Modi, Shape Optimization for Fluid flow problems using Bezier Curvers and designed Numerical Experiments, ASME Design Engineering Technical Conferences, (1999).
 [6] Jasbir S. Arora, Introduction to optimum design, McGraw-Hill, Inc., (1994)
 [7] Pironneau, O., An Optimum Design in Fluid Mechanics, Journal of Fluid Mechanics, Vol.64. (1974), pp. 97-110.
 [8] Krottmaier, J., Optimizing Engineering Designs, McGraw-Hill, Inc., (1993).
 [9] Piegl, L. and W. Tiller, The Nurbs Book, Springer, (1995).
 [10] 최병규, 한국과학기술원 CIM연구센터 Technical Reports CAD/CAM 그룹 IGES 개요, 한국과학기술원 CIM연구센터, (1993).
 [11] C.Walnum, 3-D Graphics Programming with OpenGL, Roland Elgey, (1995).